

# تشخیص خطای امپدانس بالادر شبکه توزیع توسط الگوریتم فازی خوشه‌سازی

مجید حاجتی پور

محمد فرخی

دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران

کلمات کلیدی: خطای امپدانس بالا، منطق فازی، الگوریتم خوشه‌سازی، EMTP

## چکیده

این مقاله به تشخیص خطای امپدانس بالا بر اساس سیستم فازی خوشه‌سازی، می‌پردازد. از مهمترین مزیت‌های روش فازی خوشه‌سازی، سادگی ساختار، سرعت آموزش بالای آن، و عدم وابستگی این روش به دانش فرد خبره جهت آموزش می‌باشد و می‌تواند بوسیله تعدادی داده نمونه، آموزش یابد. شاخصهایی که به عنوان ورودی سیستم فازی بکار می‌روند عبارتند از اندازه جریان هارمونیک اول، سوم، پنجم، تفاضل هارمونیک سوم و پنجم، زاویه هارمونیک سوم و اندازه مولفه صفر هارمونیک جریان اصلی فاز، می‌باشد. مجموعه آموزشی سیستم فازی، از طریق شبیه‌سازی توسط نرم افزار EMTP، بر روی حالت‌های عادی شبکه، مانند کلیدزنی بانک خازنی و بار عادی و همچنین بر روی حالت‌هایی مانند خطا بر روی خاک شن و ماسه ای، آسفالت و خاک خشک، بدست می‌آید. در این مقاله نتایج، آزمایش الگوریتم تشخیص خطای امپدانس بالا بر روی چند حالت نمونه آزمایش شده و کارایی بالای بکارگیری این روش جهت تشخیص خطای امپدانس بالا را نشان می‌دهند.

## ۱- مقدمه:

خطای امپدانس بالا به آن دسته از خطاهایی تعلق می‌گیرند که به علت جریان کم آنها، تجهیزات حفاظتی از قبیل فیوزها، کلیدهای وصل مجدد و رله‌ها تحریک نمی‌شوند. در نتیجه فقط روش‌های بسیار حساس می‌توانند اطمینان کافی را برای تشخیص این نوع خطاها ارائه دهند. وجود این حساسیت زیاد می‌تواند منجر به قطع اشتباهی خطوط و ایجاد سیستمی با قابلیت اطمینان کمتر شود [۱]. این نوع خطاها عموماً به دو صورت اتفاق می‌افتند، یا ممکن است هادی با یک جسم امپدانس بالا مانند شاخه‌های درخت تماس پیدا کند، و یا هادی بریده شده و بر روی زمین (خاک خشک شن و ماسه ای، آسفالت و نظایر آنها) بیفتد [۲]. بر طبق گزارشات، رله‌های حفاظتی، تنها بین ۵۰ تا ۶۰ درصد خطاهای امپدانس بالا را تشخیص می‌دهند [۳]. عدم تشخیص این خطاها منجر به بروز مشکلاتی از جمله خطر آتش سوزی و برق گرفتگی می‌شوند [۴]. علاوه بر این، وجود خطای امپدانس بالا علاوه بر اتلاف انرژی، تهدیدی برای امنیت شبکه به حساب می‌آید زیرا فیدرهای توزیع به

طور فزاینده‌ای در جهتی پیش می‌روند که بوسیله مدارات الکترونیکی کنترل شوند. همچنین وجود هارمونیک‌های زیاد ایجاد شده از این نوع خطا، می‌تواند بر عملکرد سیستم‌های کنترلی تاثیر گذار باشد [۵].

امپدانس خطا در این نوع خطاها، مجموع مقاومت قوس، مقاومت خاک و مقاومت بین زمین و هادی می‌باشد. مقاومت قوس، شدیداً غیر خطی است و علت آن تغییر سطح تماس هادی با خاک در هنگام گسترش قوس، تولید شیشه‌های کریبد سیلیکون به علت حرارت تولید شده توسط قوس در خاک و دلایل دیگر می‌باشد [۶]. غیر خطی بودن مقاومت باعث اعوجاج شکل موج جریان خطا شده و این اعوجاج باعث تولید هارمونیک‌ها و مولفه‌های فرکانس بالا می‌شود که این مولفه‌ها می‌توانند به عنوان شاخص‌هایی برای آشکارسازی خطای امپدانس بالا در نظر گرفته شوند. از آنجا که گذراهای مربوط به کلیدزنی‌های عادی سیستم قدرت به خصوص بانک خازنی و بعضی بارهای الکتریکی، شکل موجی مشابه با شکل موجهای خطای امپدانس بالا دارند، تمایز آنها از یکدیگر از مهمترین مسائل آشکارسازی خطای امپدانس بالا بوده که در الگوریتم‌های آشکارسازی باید مدنظر قرار گیرند. در سالهای اخیر کارهای فراوانی در زمینه آشکارسازی خطای امپدانس بالا صورت گرفته که به طور خلاصه بدین شرح می‌باشند. در [۷] و [۸] تشخیص خطا بر اساس مقایسه تغییرات هارمونیک سوم قبل و بعد از خطا صورت می‌گیرد. عیب این روش آن است که اثر دیگر هارمونیک‌ها را در نظر نمی‌گیرد و تنها به هارمونیک سوم اتکا کردن چندان قابل اطمینان نمی‌باشد. در [۹] و [۱۰] با استفاده از تبدیل موجک مولفه‌های ۵ هرتز تا ۱۰ کیلو هرتز شکل موج جریان استخراج شده و آشکارسازی خطا انجام می‌شود. عیب این روش پیدا کردن یک تابع موجک اصلی مناسب است که باید از طریق تجربه بدست آید. در [۶] و [۱۱] آشکارسازی با استفاده از فلیکر و عدم تقارن

نیم سیکلی صورت گرفته است. با توجه به این که در هنگام وقوع خطای امپدانس بالا، شکل موج جریان خطا به علت تولید قوس الکتریکی تخریب می‌شود، بنابراین در این روش از دو مشخصه فلیکر و عدم تقارن نیم سیکلی شکل موج جریان برای آشکارسازی استفاده شده است. منظور از فلیکر، رفتار تصادفی جریان خطا است که از مقایسه پیک مثبت یک سیکل با سیکل قبل و بعد از آن بدست می‌آید. محدودیت استفاده از این روش آن است که بسیاری از فعالیتهای عادی سیستم قدرت، ممکن است شکل موجهایی مشابه خطای امپدانس بالا داشته باشند. در [۱۲] و [۱۳]، آشکارسازی خطای امپدانس بالا با استفاده از تغییر انرژی مولفه‌های فرکانس بالا (۲ هرتز تا ۱۰ کیلو هرتز) صورت می‌گیرد. ولی هنگام وقوع برخی از کلیدزنی‌ها در سیستم قدرت، مانند کلیدزنی بانک خازنی که سیم خشی آن زمین نشده است و کلیدزنی کلیدهای هوایی، نیز افزایش چشمگیری در این محدوده فرکانسی دیده می‌شود. در نتیجه این روش دارای مشکلاتی است. در [۱۴] با استفاده از روش کمترین مربعات خطا، ولتاژ جرقه، فاصله و جهت خطا را تا ترمینال ولتاژ محاسبه می‌نماید و به جواب خوبی می‌رسد. در نتیجه می‌توان با استفاده از پارامترهای خط، رله اتورکلوزر را طوری تنظیم نمود تا خطا را تشخیص دهد. ولی از آنجا که در محاسبات از ماتریسی با ابعاد نسبتاً بزرگ معکوس گیری می‌کند، ممکن است دچار مشکل تکین شدن ماتریس شود. در [۴] از شبکه عصبی برای این منظور استفاده کرده است و خروجی شبیه سازی دارای دقت مناسبی می‌باشد، اما برای این کار از محاسبات و تعداد شاخص‌های زیادی (ده شاخص) استفاده نموده است. در [۱۵] با استفاده از ترکیب منطقی خصوصیات هارمونیک سوم و پنجم و ترکیب آنها با گیت‌های منطقی، خطا تشخیص داده می‌شود. این روش بسیاری از خطاهای امپدانس بالا را نمی‌تواند تشخیص دهد. روشی که در [۱۶] ارائه شده است، براساس پنج خطه کردن خطوط انتقال چهار خط است، که در آن

تشخیص خطا ساده‌تر می‌شود، اما این کار هزینه زیادی را در بر دارد. در [۱۷] از تغییرات اندازه هارمونیک دوم، سوم و پنجم و زاویه هارمونیک سوم برای تشخیص خطا استفاده نموده است. در این مقاله از منطق فازی به عنوان روشی هوشمند، وبا بکارگیری شش شاخص مناسب جریان فاز، جهت تشخیص خطای امپدانس بالا استفاده گردیده است. روشهای هوشمند مانند شبکه‌های عصبی و سیستمهای فازی، توانایی بالایی در مدل کردن سیستمهای پیچیده و غیر خطی دارند. با مقایسه این دو روش با یکدیگر چنین برداشت می‌شود که سیستمهای فازی، ساختاری ساده‌تر، حجم محاسباتی کمتر و سرعت اجرایی بیشتری نسبت به شبکه‌های عصبی دارند. با بکارگیری و مقایسه چهار روش از معروفترین الگوریتمهای فازی یعنی الگوریتم گرادیان نزولی، فازی ممدانی، فازی C-میانگین و فازی خوشه‌سازی، جهت تشخیص خطای امپدانس بالا، مشاهده می‌شود که در دو روش اول به تجربه شخص خبره جهت ایجاد پایگاه قواعد فازی نیاز است و در روش سوم محاسبات نسبت به بقیه بیشتر است. در این مقاله با بکارگیری روش فازی خوشه‌سازی، که دارای مزایای از جمله عدم نیاز به تجربه شخص خبره جهت آموزش آن، سادگی ساختار و حجم محاسباتی نسبتاً پایینی است، تشخیص خطای امپدانس بالا ساده‌تر می‌شود. به منظور آموزش سیستم فازی خوشه‌سازی می‌بایستی با شبیه سازی یک فیدر توزیع و شبیه سازی انواع خطاها بر روی آن وهمچنین استخراج شاخص‌های مناسبی از آنها، یک مجموعه آموزشی تهیه شود. معرفی شاخص‌های مناسب جهت آموزش، در قسمتهای بعدی مقاله معرفی می‌شوند.

## ۲- منطق فازی

منطق فازی برای اولین بار توسط پروفیسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی گردید. سیستمهای فازی، سیستمهایی مبتنی بر دانش یا قواعد می‌باشند. قلب سیستم فازی، پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر-آنگاه

فازی تشکیل شده است. در الگوریتمهای مختلف فازی روشهای متفاوتی برای تعیین مناسب این پایگاه قواعد بکار گرفته می‌شود. در روش گرادیان نزولی برای تعیین پایگاه قواعد، از روش نزولی‌ترین شیب استفاده می‌شود. که وابستگی زیادی به حدس اولیه برای توابع عضویت دارد و در صورت حدس اولیه نادرست الگوریتم دچار مینیمم محلی می‌شود. روش فازی ممدانی که اساس آن بر پایه تجربه شخص خبره و سعی و خطا می‌باشد، در سیستمهایی که دانش فرد خبره وجود ندارد، دچار مشکل می‌شود. در روشهای عددی، مانند روش خوشه سازی که این مقاله بر اساس آن انجام شده است، داده‌های ورودی و خروجی نزدیک به هم در یک خوشه یا قاعده قرار می‌گیرند. این روش در مدل کردن سیستمهای غیرخطی توانایی بالایی دارد.

## ۲-۱- الگوریتم فازی خوشه سازی

ایده اصلی این روش، گروه بندی زوج های ورودی-خروجی در خوشه‌های مختلف و استفاده از یک قاعده برای هر خوشه می‌باشد. یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌های خوشه‌سازی، الگوریتم خوشه‌سازی نزدیک ترین همسایگی است. در این الگوریتم ابتدا اولین داده در مرکز اولین خوشه قرار می‌گیرد. آنگاه اگر فاصله یک داده نسبت به مرکز خوشه کوچکتر از یک مقدار مشخص (T)، باشد آن را در این خوشه قرار می‌دهیم در غیر این صورت آن به عنوان مرکز یک خوشه جدید در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که توابع عضویت در این روش فازی، به صورت گوسی می‌باشند. فلوچارت آموزشی این الگوریتم در ضمیمه الف، نشان داده شده است [۱۹]. پس از آموزش سیستم فازی با وارد کردن داده ورودی، خروجی سیستم فازی از رابطه زیر به دست می‌آید.

گرفته می‌شود، که در بخشهای بعدی این شاخص‌ها معرفی می‌شوند.

### ۳- شبیه سازی فیدر توزیع

#### ۳-۱- ماهیت جرعه خطای امیدانس بالا

قبل از آنکه به شبیه سازی فیدر توزیع پرداخته گردد، می‌بایستی ماهیت و روابط حاکم بر جرعه، شناخته شوند تا بتوان آن را شبیه سازی نمود. شکل ۱، شکل موج جریان و ولتاژ جرعه را بر حسب زمان نمایش می‌دهد [۱۸]. جرعه در زمان  $T_a$ ، هنگامیکه ولتاژ اعمالی به ولتاژ شکست  $V_r$  می‌رسد، شروع به هدایت می‌کند. بلافاصله پس از وقوع جرعه، ولتاژ به میزان ولتاژ جرعه، یعنی  $V_a$  افت می‌کند و تا زمانی که جرعه وجود دارد، در مقداری ثابت باقی می‌ماند. اندازه جریان جرعه  $i(t)$ ، در زمان  $T_b$ ، هنگامی که ولتاژ اعمالی با ولتاژ جرعه برابر شد، به مقدار ماکزیمم می‌رسد. جریان در زمان  $T_c$ ، هنگامی که مساحت ناحیه A با مساحت ناحیه B، برابر می‌شود، به صفر می‌رسد. این روند در نیم سیکلهای بعدی نیز ادامه می‌یابد بنابراین

$$\int_{T_a}^{T_b} (V_m \sin(\omega t) - V_a) dt = \int_{T_b}^{T_c} (V_a - V_m \sin(\omega t)) dt \quad (2)$$

زمان هدایت جرعه در هر نیم سیکل به صورت زیر است.

$$\Delta T = T_c - T_a \quad (3)$$

از آنجایی که مدت زمان جاری بودن جریان جرعه معمولاً خیلی بزرگتر از مدت زمانی است که این جریان صفر می‌شود، لذا می‌توان فرض کرد که

$$\sin(\omega \Delta T) = \pi - \omega \Delta T \quad (4)$$

با حل معادله انتگرالی (۲) و در نظر گرفتن معادلات (۳) و (۴) می‌توان نشان داد که

$$\Delta T = \frac{2/\omega \cos(\omega T_a) + \pi/\omega \sin(\omega T_a)}{V_a/V_b + \sin(\omega T_a)} \quad (5)$$

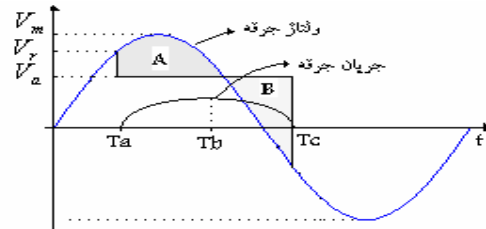
$$T_a = 1/\omega \sin^{-1}\left(\frac{V_r}{V_m}\right) \quad (6)$$

$$(1) f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M A^l \cdot \exp\left[-\frac{|x-x'_c|^2}{\sigma}\right]}{\sum_{l=1}^M B^l \cdot \exp\left[-\frac{|x-x'_c|^2}{\sigma}\right]}$$

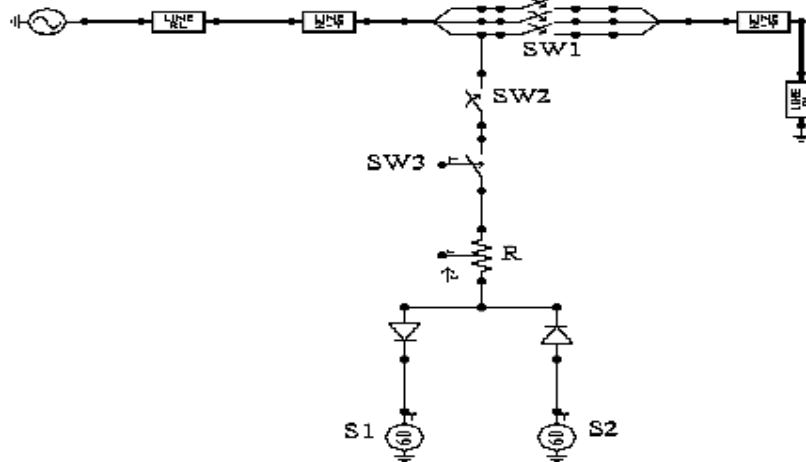
که در آن  $x$  ورودی سیستم فازی،  $f(x)$  خروجی سیستم فازی و  $x'_c$  مرکز تابع عضویت خوشه  $l$  ام و  $\sigma$  عرض توابع گوسی  $M$  تعداد خوشه‌های ایجاد شده و  $N$  تعداد داده‌های آموزشی می‌باشند و همچنین  $A^l$  و  $B^l$  ضرایبی هستند که در الگوریتم آموزش استفاده می‌شوند. هر چه شعاع همگرایی ( $r$ )، کوچکتر باشد، دقت سیستم فازی طراحی شده بیشتر می‌شود ولی در عوض تعداد خوشه‌ها و حجم محاسباتی بیشتر می‌شود. در ضمن کوچکتر بودن  $\sigma$  باعث می‌شود که توانایی تقریب خطی، توسط سیستم فازی بیشتر شود. پارامترهای  $\sigma$  و  $r$  بر حسب دقت دلخواه و بر اساس سعی و خطا تعیین می‌شوند.

#### ۳-پیش پردازش داده ها

برای آشکار سازی خطای امیدانس بالا توسط سیستم فازی، مراحل زیر باید انجام شود: الف) نمونه برداری و پیش پردازش جریانهای خطای امیدانس بالا، کلید زنی و بار عادی بر روی فیدر توزیع و تهیه مجموعه آموزشی. ب) استفاده از این مجموعه و استخراج شاخص‌های مناسب از آنها به منظور آموزش سیستم فازی. ج) آزمایش سیستم فازی با ورودیهای متفاوت با مجموعه آموزشی. در قسمت اول با شبیه سازی کامپیوتری توسط EMTP بر روی فیدر توزیع، حالت‌های مختلف خطا و شرایط عادی، انجام می‌شود. از جریان شبیه سازی شده با نرخ ۳۰ نمونه در سیکل نمونه برداری می‌شود. ولی از آنجا که نمی‌توان آنها را مستقیماً به سیستم فازی جهت آموزش اعمال کرد، شاخص‌ها و ویژگیهای مشخصی از شکل موجها استخراج کرده و آنها را به عنوان ورودیهای آموزشی سیستم فازی در نظر



شکل ۱: شکل موج جریان و ولتاژ جرقه



شکل ۲: مدل فیدر توزیع همراه با مدل خطای امپدانس بالا در EMTP

شود، با یک جسم امپدانس بالا تماس پیدا می‌کند. برای شبیه سازی حالت اول، کلید ۱ باز و کلید ۲ به طور همزمان بسته می‌شود. در حالت دوم، چون هادی بریده نمی‌شود، بنابراین جریان در پست توزیع معادل جریان بار به اضافه جریان خطا می‌باشد. در این حالت کلید ۱ بسته می‌ماند ولی کلید ۲ در هنگام بروز خطا بسته می‌شود. کلید شماره ۳، یک کلید کنترل شده با TACS می‌باشد (TACS)، یکی از ابزارهای موجود در نرم افزار EMTP است که به منظور ایجاد عناصر با پارامترهای متغیر به کار می‌رود). این کلید کنترل شده با TACS، وظیفه کنترل شروع مجدد جرقه و خاموش کردن آن را بر عهده دارد. کلید ۳ هنگامی بسته می‌شود که ولتاژ ورودی از ولتاژ شکست، یعنی  $V_r$ ، بزرگتر شده و جرقه شروع به هدایت کند. کلید ۳، مادامی که جرقه به هدایت خود ادامه می‌دهد بسته می‌ماند و هنگامی که جرقه خاموش می‌شود، یا به عبارتی هنگامی که  $t > T_c$  گردد کلید ۳ باز خواهد شد. این عمل در هر نیم سیکل تکرار خواهد شد. در شبیه سازی‌ها ولتاژ شکست در هر نیم سیکل به صورت یک

$$\Delta T = \frac{\pi V_r + 2\sqrt{(V_m^2 + V_r^2)}}{w(V_a + V_r)} \quad (V)$$

معادله (V) بیانگر این نکته است که زمان هدایت جرقه، به ولتاژ شکست  $V_r$ ، پیک ولتاژ اعمالی  $V_m$ ، و ولتاژ جرقه  $V_a$  بستگی دارد. از روابط بالا برای شبیه سازی جرقه خطای امپدانس بالا، استفاده می‌شود.

### ۳-۲- مدل کردن خطای امپدانس بالا در شبیه سازی

در این مقاله برای شبیه سازی خطای امپدانس بالا از مدلی که توسط مرجع (۱۷) معرفی شده است، استفاده می‌شود که در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲ کلیدهای ۱ و ۲، کلیدهای کنترل شده با زمان هستند. وظیفه این کلیدها، ایزوله کردن فیدر از بار و فراهم نمودن مسیر خطا به طور همزمان می‌باشد. همان طور که قبلاً ذکر شد، خطای امپدانس بالا عموماً در دو حالت رخ می‌دهد. یا هادی بریده می‌شود و بر روی جسم امپدانس بالا می‌افتد و یا اینکه هادی بدون این که بریده

متغیر تصادفی فرض می‌شود. در نتیجه برای کنترل خاموش و روشن شدن کلید ۳، از معادلات ۲ الی ۷ استفاده می‌شود. مقاومت غیر خطی  $R$  نیز یک مقاومت کنترل شونده با TACS است، که این مقاومت بیانگر مقاومت جرقه خطای امپدانس بالا می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{dG}{dt} + BG = \frac{i(t)}{A} \quad (8)$$

که در آن  $i(t)$  جریان کلید ۳ و  $G(t) = I/R$  رسانایی جرقه می‌باشند. ثابت  $A$  بیانگر وابستگی مقاومت جرقه به جنس خاک و میزان رطوبت خاک می‌باشد. و ثابت  $B$  ثابت زمانی معادله دیفرانسیل است. در مدلی که توسط مرجع [۱۷] معرفی شده است در آن به جای منابع ولتاژ S1 و S2 از منابع ثابت استفاده شده است ولی از آنجا که در عمل این ولتاژها می‌بایستی متغیر با زمان باشند تا ماهیت غیر خطی جرقه را نشان دهند از این‌رو در این مقاله به جای آنها از منابع ولتاژ دندان‌اره‌ای استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی برای نمونه بر روی دو نوع خطا در شکل ۳، نشان داده شده‌اند.

#### ۴- انتخاب شاخص‌های مناسب برای آموزش سیستم فازی

برخی از خصوصیات جریان خطای امپدانس بالا با خصوصیات جریان حاصل از کلیدزنی بانک خازنی، تغییر تپ ترانسفورماتورها و بارهای الکترونیک قدرت مشابه هستند. به همین منظور سیستم فازی می‌بایستی توسط شاخص‌هایی آموزش یابد که بتواند خطای امپدانس بالا را از حالت‌های دیگر شبکه توزیع تمایز دهد. به همین منظور شاخص‌های خاصی از جریان خطا از هر سیکل می‌بایستی توسط پیش پردازشگر استخراج شوند و آنها را به عنوان ورودیهای سیستم فازی، جهت تعلیم الگوریتم فازی آماده نماید. در ابتدای مقاله، شاخص‌های مختلفی که توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، معرفی شدند. در این مقاله، شش پارامتر جریان خطا به عنوان شاخص توسط پیش

پردازشگر از هر سیکل استخراج می‌شوند. که بدین شرح اند:

الف) اندازه نسبی مولفه اصلی جریان (بر حسب درصد):

اختلاف اندازه هارمونیک اصلی سیکل جاری با مولفه اصلی جریان عادی، تقسیم بر اندازه مولفه اصلی جریان عادی ضربدر صد.

ب) اندازه نسبی مولفه سوم جریان (بر حسب درصد):

اختلاف اندازه هارمونیک سوم سیکل جاری با هارمونیک سوم جریان عادی، تقسیم بر اندازه مولفه اصلی جریان عادی ضربدر صد.

ج) اختلاف نسبی اندازه هارمونیک سوم و پنجم (بر حسب درصد):

اختلاف اندازه هارمونیک سوم سیکل جاری با هارمونیک پنجم سیکل جاری، تقسیم بر اندازه مولفه اصلی جریان عادی ضربدر صد.

د) اندازه نسبی مولفه پنجم جریان (بر حسب درصد):

اختلاف اندازه هارمونیک پنجم سیکل جاری با هارمونیک پنجم جریان عادی، تقسیم بر اندازه مولفه اصلی جریان عادی ضربدر صد.

ه) تغییرات اندازه جریان توالی منفی هارمونیک اصلی (درصد)

و) فاز هارمونیک سوم (بر حسب درجه):

اختلاف فاز بین هارمونیک سوم جریان سیکل جاری و مولفه اصلی ولتاژ.

این شش پارامتر بر روی ۳۰ سیکل متوسط‌گیری شده و سپس به عنوان یک مجموعه آموزشی در نظر گرفته می‌شوند. دلایل انتخاب این شش پارامتر به شرح زیر است:

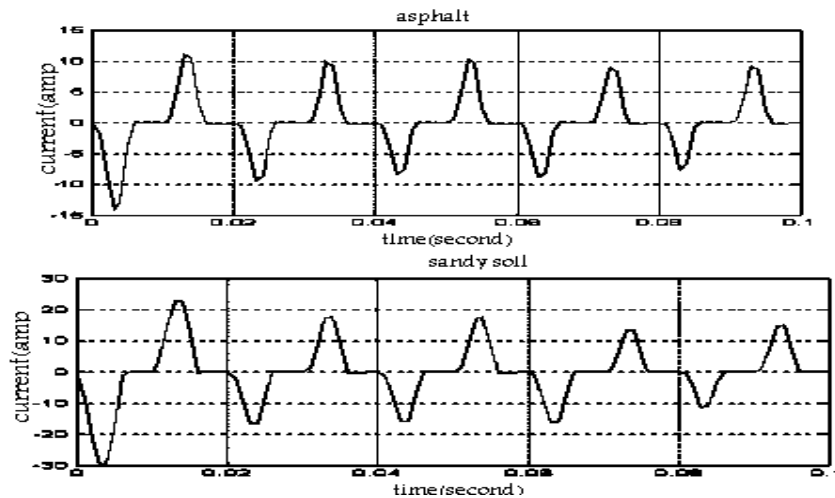
۱- اندازه هارمونیک اصلی جریان از قبل تا بعد از خطای امپدانس بالا تغییرات چشمگیری از خود نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی تأیید کننده این مسئله می‌باشند. در نتیجه می‌توان آن را به عنوان یک شاخص برای تشخیص خطای امپدانس بالا در نظر گرفت.

۲- هارمونیک سوم جریان تغییرات چشمگیری از قبل تا بعد از وقوع خطا نشان می دهد (هم از لحاظ اندازه و هم از نظر فاز). نتایج شبیه سازی تایید کننده این مسئله می باشد. میزان تولید این هارمونیک، به میزان غیرخطی بودن خطا بستگی دارد.

۳- شبیه سازی ها نشان می دهد که اندازه پنجمین هارمونیک جریان خطای امپدانس بالا بر خلاف حالت کلید زنی، در هنگام وقوع خطا افزایش می یابد، و می تواند به عنوان شاخص خطا انتخاب شود.

۴- در هنگام وقوع خطای امپدانس بالا، اختلاف بین تغییرات اندازه هارمونیک سوم و پنجم جریان خطا می تواند به عنوان شاخص مناسبی انتخاب شود. نتایج شبیه سازی تایید کننده این مسئله می باشد.

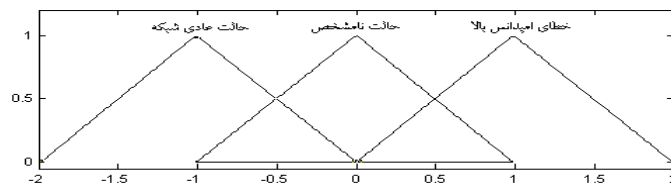
۵- در حالت وقوع این نوع خطا، جریان توالی منفی تولیدی بوسیله خطا با جریان توالی منفی بارعادی سیستم قدرت جمع آثار می شود. افزایش این جریان می تواند به عنوان شاخص خطا در نظر گرفته شود.



شکل ۳: شبیه سازی بر روی یک نمونه آسفالت (بالا) و خاک شن و ماسه ای (پایین)

جدول (۱): محدوده تغییرات شش شاخص، بر اساس نتایج شبیه سازی. اعداد داخل هر خانه به ترتیب از چپ به راست: Mean و Max, Min

تغییرات جریان توالی منفی هارمونیک ۱ (%)	تغییرات جریان توالی منفی هارمونیک ۳ (درجه)	اندازه نسبی هارمونیک ۵ (%)	اختلاف نسبی اندازه هارمونیک ۳ و ۵ (%)	اندازه نسبی هارمونیک ۳ (%)	اندازه نسبی هارمونیک ۱ (%)	حالت
۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۰	بار عادی
۴,۲	۱۰,۲	۹,۶	۵۸	۸۵	۶۲	آسفالت
۳	۱۰	۹	۵۲	۷۲	۵۷	خاک شن و ماسه
۲,۱	۹,۶	۸,۵	۵۲	۷۰	۵۶	خاک خشک
۰,۴	۵	۳	۵۲	۶۲	۵۵	خاک مرطوب
۰,۸	۳,۲	۰,۸	۰	۹۰	۳۸	کلید زنی



شکل (۴): توابع عضویت خروجی الگوریتم فازی خوشه سازی

۶- هارمونیک سوم جریان خطای امپدانس بالا از ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه نسبت به ولتاژ پس فاز دارد، که این اختلاف فاز می‌تواند به عنوان شاخص خطا تلقی شود. جدول ۱ محدوده تغییرات این شش پارامتر را پس از شبیه سازی برای انواع حالتها، نشان می‌دهد. از نتایج موجود در این جدول برای آموزش سیستم فازی استفاده می‌شود.

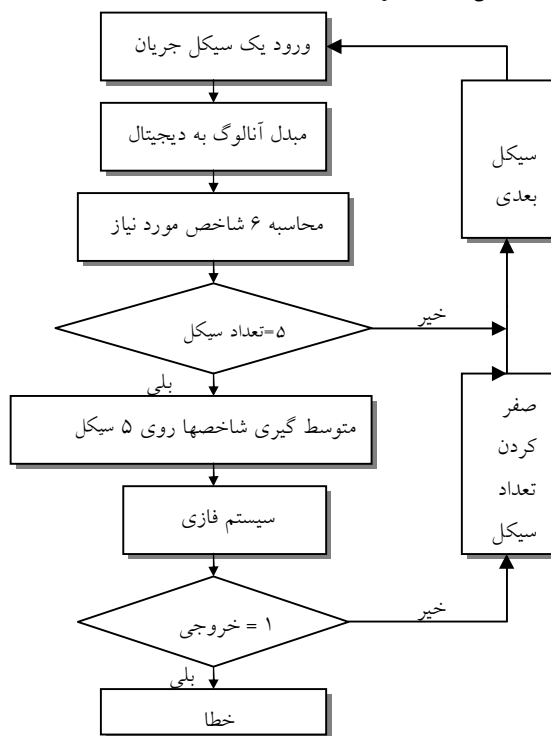
### ۶-آزمایش و شبیه سازی سیستم فازی

الگوریتم برای ۶ نمونه جریان (آسفالت، خاک خشک، خاک شن و ماسه‌ای، خاک مرطوب، کلیدزنی و بار شبه خطا) مورد آزمایش گرفته است. به این ترتیب که براساس فلوجارت تشخیص خطا در شکل ۵، پس از آنکه از جریان فاز نمونه برداری و از شش شاخص موردنظر برای ۵ سیکل متوسط‌گیری شد، از شش شاخص استخراج شده به عنوان ورودی سیستم فازی ( $x$ ) استفاده می‌شود و خروجی سیستم فازی بر اساس رابطه (۱)، بدست می‌آید. جدول ۲ مراکز خوشه‌های ایجاد شده پس از آموزش سیستم فازی را نشان می‌دهد. همچنین الگوریتم تشخیص خطا بر روی

چند حالت نمونه آزمایش شده است و نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

### ۷- نتیجه گیری

در این مقاله به منظور آشکار سازی خطای امپدانس بالا از روش فازی خوشه‌سازی استفاده شد. با مقایسه این روش با دیگر روشهای انجام شده برای تشخیص خطای امپدانس بالا، مشاهده می‌شود که این روش دارای ساختاری ساده تر، سرعت اجرا و آموزش بالا ودقت پاسخ مناسبی است. همچنین روش فازی خوشه سازی دارای مزیت مهمی است و آن بی‌نیاز بودن از دانش فرد خبره جهت آموزش سیستم فازی است. به منظور آموزش سیستم فازی، بر روی یک فیدر توزیع، انواع خطاهای امپدانس بالا و شرایط عادی شبیه سازی و از میان آنها شاخص‌های مناسب استخراج شدند. نتایج آزمایش انجام شده بر روی سیستم تشخیص خطا، که در جدول ۳ نشان داده شده اند، گویای توانایی بالای این روش جهت تشخیص خطای امپدانس بالا می‌باشد.



شکل ۵: فلوجارت آشکار سازی توسط سیستم فازی خوشه سازی

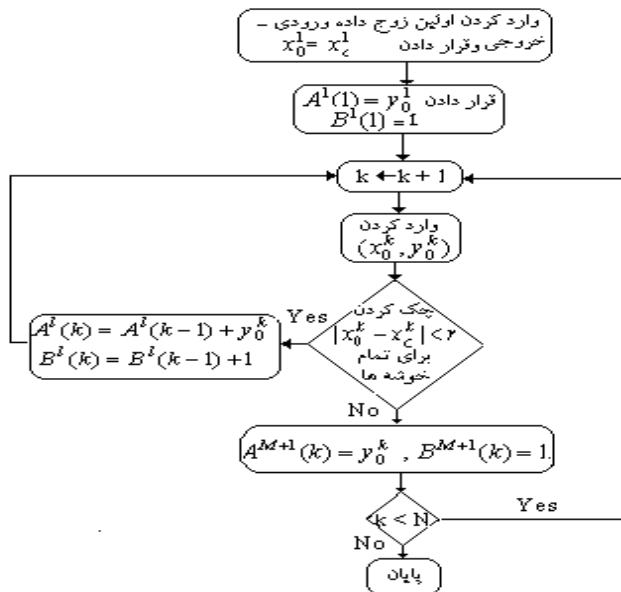


جدول ۳: مراکز خوشه های ایجاد شده مربوط به الگوریتم فازی خوشه‌سازی

شماره خوشه	شاخص ۱ (%)	شاخص ۲ (%)	شاخص ۳ (%)	شاخص ۴ (%)	شاخص ۵ (%)	شاخص ۶ (%)
۱	۱,۵	۱۰	۱	۸,۹	۱۰	۰
۲	۷۸	۶۸	۵,۵	۷۲	۶۴	۹,۶
۳	۷۲	۵۹	۹,۵	۵۰	۵۴,۳	۸,۲
۴	۶۶	۵۲	۱۰	۳۸	۶۲	۶,۶
۵	۲۰	۶۳	۳۱	۲۸	۵۸	۳,۲
۶	۱۲	۶۰	۶	۴۰	۵۵	۳
۷	۱۸	۶۵	۲۰	۳۸	۶۶	۴,۵
۸	۸۲	۶۵	۴,۶	۵۵	۶۴	۶,۵
۹	۳۳	۵۴	۲۶	۲۵	۶۰	۰,۹
۱۰	۳,۵	۷۸	۳	۶۴	۶۴	۲
۱۱	۱۳	۲۸	۰,۸	۳۳	۸۲	۲,۲
۱۲	۱۹	۶۳	۱۸,۶	۵۵	۵۸	۶,۹
۱۳	۱۳	۵۲	۲,۵	۳۲,۸	۳۳	۱
۱۴	۱۹,۵	۵۲	۲۹	۲۲	۵۱,۴	۲,۲۷
۱۵	۱۴	۷۶,۸	۴,۸	۶۸	۶۴,۹	۸,۶
۱۶	۱۲,۵	۳۹	۵,۶	۴۰	۳۵	۱,۱
۱۷	۸۴,۷	۷۶,۹	۵,۲	۷۳,۵	۶۳,۴	۹,۶
۱۸	۲۵,۳	۵۳,۶	۲۸,۷	۲۹,۶	۵۴,۳	۱,۳۹
۱۹	۷,۶	۶۵	۳,۵	۵۹	۴۰	۰,۸

جدول ۲: نتایج آزمایش خطای امیدانس بالا برای چند حالت نمونه. (ش یعنی شاخص)

شماره داده	نوع داده ورودی	ش ۱ (%)	ش ۲ (%)	ش ۳ (%)	ش ۴ (%)	ش ۵ (%)	ش ۶ (%)	خروجی سیستم فازی
۱	خطا بر خاک شن و ماسه ای	۷۴	۷۰	۹	۶۲	۶۸	۷,۵	۱
۲	کلید زنی	۸	۲۲	۱,۵	۱۲,۵	۲۲	۰,۵	۱-
۳	خطا بر روی آسفالت	۶۵	۷۵	۴,۵	۶۶	۷۲	۶,۲	۱
۴	بار عادی	۰,۱	۱۰	۱	۱۰,۲	۱۰	۰,۲	۱-
۵	خطا بر خاک مرطوب	۲۵	۵۸	۲۷	۳۲	۵۵	۰,۸	۱
۶	خطا بر روی خاک خشک	۲۸	۵۴	۲۵	۲۸	۵۹	۲,۳	۱



شکل (۶): فلوچارت آموزشی الگوریتم فازی خوشه سازی

### مراجع

[4] Keyhani.R and Deriche.M, "A High Impedance Fault Detector Using A Neural Network and Subband Decomposition", IEEE Conference On Signal Processing, pp.458-461, Aug.2001.

[5] Gajjar.J.T, "Efficient Model For Component Computing High-Impedance Fault Generated Harmonic Propagatin Effects On Radial Power Feeders", IEEE Conferenc On Distribution Circuit and Systems,vol.5,pp.3031-3034,1991.

[6] A.F.Sultan and G.W.Swift, "Detecting Arcing Downed Wires Using Fault Current Flicker and Half Cycle Asymmetry", IEEE T-PWRD-9,no.1,pp.461-470, Jan 1994.

[1] Benner.C and Russel.B,"Practical High Impedance Fault Detection On Distribution Feeders",IEEE.Trans On Industry Application,vol.33, no.3,pp.635-40, May.1997.

[2] Aucoin.M and Russell.B.D,"Distribution High Impedance Detection Utilizing High Frequency Components", IEEE T-Pas-101, no.6, pp.1596-1606, June 1982.

[3] Nam.S.R and Park.J.K, "A Modeling Of High Impedance Fault In a Distribution System Using Tow Series Time-Varying Resistances In EMTP", IEEE Conference On Power Engineering Society Summer Meeting, pp.1175-1180, vol.2, 2001.

- [16] Sort.T.A,Stewart.J.R,Smith.D.R,"Five-Wire Distribution System Demonstration Project", IEEE Transactions On Power Delivery, vol.17, no.2, pp.649-654, April 2002.
- [17] Sheng.Y and Rovnyak.S.M, "Decision Tree-Based Methodology For High Impedence Fault Detection", IEEE Transactions On Power Delivery, vol.19, no.2, pp.533-536, April 2004.
- [18] Wang.Li-Xin, A Course In Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall,1997.
- [7] Li.J and Kohler.J.L,"New Insight Into The Detection Of High-Impedance Arcing Faults On Dc Trolley Systems", IEEE Conference On Industry Applications, vol.4, pp.2506-2513, 1996.
- [8] Sharaf.A.M and Snider.L.A,"A Third Harmonic Sequence Based Detection Scheme For High Impedance Faults", IEEE Conference On Electrical and Computer Engineering, pp.802-806,1993.
- [9] Wai.D.C.T and Yibin.X, "A Novel Technique For High Impedence Fault Identification", IEEE.T-PWRD-13,pp.738-744, July 1998.
- [10] Johnes.A.T and Aggarwal.Y.H, "Improved Techniques for Modelling Fault Arcs On Faulted EHV Transmission Systems", IEE Proc On Generating, transmission and Distribution,vol.141, no.2, March 1994.
- [11] Jeering.D and Linders.J.R,"Ground Resistive-Revisited", IEEE T.PWRD-4, no.2,pp.949-956, April 1989.
- [12] M.Aucoin and Zeigler.B.D.Russell, "Feeder Protection and Monitoring System, Part 1: Design Implementation and Testing", IEEE T-PAS-104,no.4,pp.873-880, April 1985.
- [13] Christie.R and Zadhgole.H,Habib.M, "High Impedance Fault Detection In Low Voltage Networks ", IEEE T-PWRD, no.4, pp.1829-1836, Oct.1993.
- [14] Radojevic.Z and Terzija.V, "Numerical Algorithm For Overhead Lines Arcing Faults Detection and Distance and Directional Protection", IEEE Transactions On Power Delivery,vol.15, no.1, pp.31-37, Jan.2000.
- [15] Khan.S.H and Yu.C.D, "An Adaptive High and Low Impedance Fault Detection Method",IEEE T-PWRD-9,no.4, pp 1812-1820, Oct.1994.